

Katedra Chemii Rolnej Wydziału Rolniczego Akademii Rolniczej w Lublinie

ADAM KACZOR, IGNACY DECHNIK

*Wpływ czynników nawozowych i roślinnych
na kształtowanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebie*

The Effect of Fertilizer and Plant Factors on the Formation of the Content
of Assimilable Phosphorus in the Soil

Zagadnienie dotyczące efektywnego gospodarowania fosforem jako składnikiem pokarmowym roślin wymaga ciągłego badania przemian tego pierwiastka w systemie nawóz-gleba-roślina. Głównymi elementami różnicującymi ten proces są: rodzaje i dawki stosowanych nawozów, zasobność gleby w fosfor łatwo rozpuszczalny oraz wielkości jego pobrania przez różne gatunki roślin (11).

Publikowane dotychczas wyniki badań, mające związek z kształtowaniem zawartości fosforu przyswajalnego w glebie oraz z pobieraniem tego składnika przez rośliny, dotyczą głównie nawozów w postaci stałej. Stwierdza się w nich między innymi, że każdy stosowany rodzaj nawozu fosforowego przyczynia się do zwiększenia zawartości łatwo rozpuszczalnej formy fosforu w glebie (5).

Niektórzy autorzy wskazują na występowanie istotnych związków pomiędzy zawartością mineralnych form fosforu w glebie a jego pobraniem przez rośliny. Jako przykład można podać, że pobranie fosforu przez życie wielokwiatową czy kukurydzę jest w dużym stopniu uzależnione od zasobności gleby w fosfor przyswajalny (1, 10).

Niewiele natomiast jest pozycji literatury naukowej dotyczącej pobrania fosforu z nawozów stosowanych w postaci płynnej, w tym ze ścieków komunalnych. Nieliczne prace z tego zakresu informują (2, 3, 4), że fosfor jako składnik pokarmowy roślin występujący w wodach pościekowych jest bardzo dobrze zatrzymywany przez glebę. Jednakże zwraca się też uwagę na fakt, że w głównej części ulega

on sorpcji chemicznej, co w konsekwencji ogranicza jego kumulację w formie łatwo rozpuszczalnej (1).

Niezależnie od formy nawożenia fosforowego składnik ten nagromadza się w różnych ilościach w środowisku glebowym i, jak pisze F o t y m a (6), saldo bilansu fosforu może być konfrontowane ze zmianami zawartości jego przyswajalnych form w glebie.

Głównym celem naszych badań, przedstawionych w prezentowanej pracy, było ilościowe określenie zmian zawartości fosforu przyswajalnego w glebie nawożonej oczyszczonymi ściekami miejskimi oraz nawozami mineralnymi.

METODYKA BADAŃ

Badania wykonano opierając się na dwu seriach doświadczeń wazonowych, przeprowadzonych na materiale glebowym, pobranym z wierzchniej warstwy gleby biellicowej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. W glebie tej zawartość azotu ogółem wynosiła 0,16% N, a łatwo hydrolizującego 84 mg N/kg, zasobność w fosfor przyswajalny była średnia (45,8 mg P/kg), w potas niska (55,6 mg K/kg), a w magnez bardzo niska (12 mg Mg/kg). Do doświadczeń użyto wazonów o pojemności 5 dm³, które napełniono 6 kg gleby o wilgotności 7,7%.

W I serii w r. 1995 rośliną testową była kupkówka pospolita, a w r. 1996 jęczmień jary. Kupkówkę zbierano trzykrotnie w sezonie wegetacyjnym, a jęczmień w okresie pełnej dojrzałości. W II serii doświadczalnej w r. 1995 uprawiano kukurydzę i jako poplon gorczycę białą, a w r. 1996 rzepak jary i po nim słonecznik pastewny. Wszystkie rośliny z tej serii zbierano na zieloną masę. Pod rośliny testowe w okresie sezonu wegetacyjnego stosowano składniki pokarmowe w formie ścieków i soli mineralnych według schematu zamieszczonego w tab. 1.

W badaniach stosowano miejskie ścieki oczyszczone biologicznie, pochodzące z komunalnej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni Hajdów w Lublinie. Ścieki te w 1 dm³ zawierały: P-PO₄ rozp. – 4 mg P; N rozp. – 30 mg N; K całkow. – 30 mg K; Mg całkow. – 10 mg Mg. Nawożenie mineralne podano w formie rozpuszczalnych soli: KH₂PO₄, NH₄NO₃, KCl oraz MgSO₄ · 7H₂O. Wnoszenie składników pokarmowych w formie ścieków rozpoczynano każdego roku po przerwaniu roślin do odpowiedniej

Tab. 1. Schemat doświadczenia i ilości wnoszonych składników pokarmowych w ciągu jednego okresu wegetacji

The experimental design and the quantities of nutritional elements introduced during one vegetation period

Obiekt	Nawożenie	Składniki w g/wazon			
		P	N	K	Mg
O	kontrola	0	0	0	0
S ₁	ścieki w ilości 100 cm ³ /wazon/dzień - łącznie 12 dm ³	0,048	0,36	0,36	0,12
S ₂	ścieki w ilości 200 cm ³ /wazon/dzień - łącznie 24 dm ³	0,096	0,72	0,72	0,24
A ₁	nawożenie mineralne w dawce S ₁	0,048	0,36	0,36	0,12
A ₂	nawożenie mineralne w dawce S ₂	0,096	0,72	0,72	0,24
A ₃	nawożenie mineralne w dawce optymalnej	0,52	2,40	1,41	0,24

ilości w wazonie (kupkówka pospolita – 12; jęczmień jary – 10; kukurydza – 5; gorczyca biała – 8; rzepak jary – 7; słonecznik pastewny – 4). Fosfor i magnez w postaci soli mineralnych podawano każdego roku w całości w trakcie zakładania doświadczenia, a azot i potas stosowano w części przed siewem roślin oraz w części w trakcie wegetacji. Wilgotność gleby we wszystkich wazonach utrzymywano na poziomie 60% maksymalnej pojemności wodnej przez podlewanie roślin do stałej wagi wodą destylowaną.

W materiale roślinnym w średnich próbach obiektowych oznaczono zawartość fosforu ogółem. Oznaczenie to wykonano kolorymetrycznie, metodą wanado-molibdenową, po uprzedniej mineralizacji materiału roślinnego H_2SO_4 z dodatkiem H_2O_2 . Na podstawie suchej masy plonów i procentowej zawartości fosforu (7, 8, 9) wyliczono pobranie tego składnika przez rośliny z 1 kg gleby. Zawartość przyswajalnego fosforu w glebie określono w średnich próbach obiektowych pobieranych w każdym roku po zbiorach ostatniej rośliny. Fosfor przyswajalny oznaczono metodą Egnera-Riehma DL. W końcowym efekcie dla poszczególnych obiektów wyliczono salda bilansowe fosforu w mg P/kg gleby według następującego wzoru:

$$Sb = Z_{f.p.} - (p + Z_{f.k.})$$

gdzie: Sb – saldo bilansowe, $Z_{f.p.}$ – początkowa zawartość fosforu przyswajalnego w glebie, łącznie z podanym w nawozie, p – ilość fosforu pobrana przez rośliny, $Z_{f.k.}$ – zawartość fosforu przyswajalnego po zbiorze ostatniej rośliny.

WYNIKI BADAŃ

Uzyskane rezultaty badań wskazują na znaczne różnice w pobieraniu fosforu przez rośliny i w zawartości tego składnika w formie łatwo rozpuszczalnej w glebie po ich zbiorach. Różnice te były zależne zarówno od wielkości dawki fosforu, jak i postaci, w jakiej go stosowano, a także od gatunku uprawianej rośliny i roku doświadczenia.

W obiektach nawożonych oczyszczonymi ściekami miejskimi o średniej zawartości fosforu dostępnego dla roślin równej 58 mg P/kg gleby kupkówka pospolita pobrała tylko 9 mg P/kg gleby. Po zbiorze trzeciego pokosu tej rośliny w glebie pozostało 35 mg fosforu przyswajalnego, co razem z pobranym dało wartość 44 mg P/kg gleby. Wynika stąd, że 14 mg P/kg gleby przeszło w formy nie dające się oznaczyć metodą Egnera-Riehma (tab. 2).

W drugim sezonie wegetacyjnym jęczmień jary jako roślina następcza w obiektach, w których składniki podano w formie ścieków, dysponował niższą zawartością wyjściową fosforu łatwo rozpuszczalnego w glebie w porównaniu z kupkówką pospolitą. Średnia zawartość tego składnika wynosiła 47 mg P/kg gleby. Po pobraniu przez rośliny 8 mg P/kg gleby po sprzęciu jęczmienia pozostało aż 51 mg P/kg gleby. W konsekwencji w drugim roku doświadczenia saldo bilansowe fosforu dostępnego było wyraźnie dodatnie (+12 mg P/kg gleby). Związane to było zapewne z mineralizacją resztek organicznych, pozostałych po zbiorze kupkówki pospolitej.

Tab. 2. Zmiany zawartości fosforu przyswajalnego w glebie w I serii doświadczalnej (mg P/kg gleby)
Changes in assimilable phosphorus uptake in the soil in I experimental series (mg P/kg the soil)

Obiekt	Kupkówka pospolita – 1995				Jęczmień jary – 1996			
	zawartość P w glebie przed doświadczeniem (razem z dodanym w nawozie)	P pobrany przez kupkówkę pospolitą	zawartość P w glebie po zbiorze kupkówki pospolitej	saldo bilansowe fosforu	zawartość P w glebie przed doświadczeniem (razem z dodanym w nawozie)	P pobrany przez jęczmień jary	zawartość P w glebie po zbiorze jęczmienia jarego	saldo bilansowe fosforu
O	46	5	36	-5	36	5	48	+17
S ₁	54	8	34	-12	42	8	50	+16
S ₂	62	10	36	-16	52	8	52	+8
Średnia dla S ₁ , S ₂	58	9	35	-14	47	8	51	+12
A ₁	54	9	44	-1	52	9	58	+15
A ₂	62	13	50	+1	66	13	56	+3
Średnia dla A ₁ , A ₂	58	11	47	0	59	11	57	+9
A ₃	133	23	62	-48	149	24	102	-23

Przy stosowaniu nawożenia w formie soli mineralnych zarówno kupkówka pospolita, jak i uprawiany po niej jęczmień jary pobierały nieco większe ilości fosforu. Pomimo wyższego pobrania stwierdzone w glebie po zbiorze roślin ilości przyswajalnej formy tego składnika były również wyraźnie większe. W rezultacie po pierwszym roku doświadczenia – po sprzucie trzeciego pokosu kupkówki pospolitej – średnie ilości fosforu pobranego i pozostałego w glebie w formie dostępnej były równe jego zawartości wyjściowej, tj. 58 mg P/kg gleby. Natomiast po zbiorze jęczmienia jarego uprawianego w drugim roku znaleziono w glebie 57 mg P przyswajalnego, co łącznie z pobranym przewyższało stan wyjściowy o 9 mg P/kg gleby. Dodatni bilans fosforu był najprawdopodobniej również wynikiem mineralizacji resztek roślinnych pozostałych po pierwszym sezonie wegetacyjnym.

Wyniki pierwszej serii doświadczeń wskazują na to, że przy stosowaniu ścieków rośliny pobierały mniejsze ilości fosforu w porównaniu z pobraniem tego składnika z obiektów, w których stosowano nawozy mineralne. Zawartości fosforu przyswajalnego, pozostające w glebie po zbiorach roślin nawożonych ściekami,

były również wyraźnie niższe w stosunku do ilości pozostających w serii z nawożeniem mineralnym.

W omawianych doświadczeniach najwyższe minusowe saldo fosforu przyswajalnego w glebie wystąpiło przy stosowaniu dawki optymalnej w formie soli mineralnych. Saldo to było ujemne pomimo tego, że w tych obiektach pobranie i zawartość fosforu w glebie po spręcie roślin były około dwukrotnie wyższe niż przy stosowaniu składników w mniejszych dawkach (tab. 2). Uzyskane wyniki wskazują na to, że ilości fosforu przechodzące w związki trudniej dostępne są wprost proporcjonalne do stężenia tego składnika w glebie.

W II serii doświadczeń przy zasilaniu roślin oczyszczonymi ściekami pobranie fosforu przez kukurydzę i gorczycę oraz przez rzepak jary i słonecznik było nieco większe niż pobranie tego składnika przez rośliny w serii I. Wyższe też były pozostałości fosforu dostępnego dla roślin w glebie po ich zbiorach. W efekcie ujemne saldo po zbiorze gorczycy białej wynosiło tylko 2 mg P/kg gleby, a po spręcie słonecznika stwierdzono saldo bilansowe dodatnie wynoszące 5 mg P/kg gleby (tab. 3).

Tab. 3. Zmiany zawartości fosforu przyswajalnego w glebie w II serii doświadczalnej (mg P/kg gleby)

Changes in assimilable phosphorus uptake in the soil in II experimental series (mg P/kg of the soil)

Obiekt	Kukurydza + gorczyca biała – 1995				Rzepak jary + słonecznik pastewny – 1996			
	zawartość P w glebie przed doświadczeniem (razem z dodanym w nawożeniu)	P pobrany przez rośliny	zawartość P w glebie po zbiorze gorczycy białej	saldo bilansowe fosforu	zawartość P w glebie przed doświadczeniem (razem z dodanym w nawożeniu)	P pobrany przez rośliny	zawartość P w glebie po zbiorze słonecznika	saldo bilansowe fosforu
O	46	5	44	+3	44	6	54	+16
S ₁	54	12	44	+2	52	10	46	+4
S ₂	62	12	44	-6	60	12	54	+6
Średnia dla S ₁ , S ₂	58	12	44	-2	56	11	50	+5
A ₁	54	15	42	+3	50	13	48	+11
A ₂	62	15	38	-9	54	15	46	+7
Średnia dla A ₁ , A ₂	58	15	40	-3	52	14	47	+9
A ₃	133	32	56	-45	143	51	91	-1

Pobranie fosforu przez wszystkie rośliny z II serii doświadczalnej z obiektów z nawożeniem mineralnym – podobnie jak w przypadku kupkówki pospolitej i jęczmienia jarego – było wyraźnie wyższe w stosunku do pobrania tego składnika z obiektów zasilanych ściekami. W konsekwencji zawartości fosforu przyswajalnego w glebie po spręczeniu gorczycy białej i słonecznika były nieco niższe w obiektach nawożonych solami mineralnymi. Pomimo tego w tej serii doświadczalnej saldo bilansowe fosforu po zbiorze gorczycy białej było zbliżone (-3 mg P/kg) do wartości uzyskanych przy nawożeniu roślin ściekami, a po spręczeniu słonecznika było ono wyraźnie wyższe (9 mg P/kg).

Przy nawożeniu optymalną dawką w postaci soli mineralnych pobranie fosforu przez kukurydzę i gorczycę oraz rzepak i słonecznik było znacznie wyższe niż pobranie tego składnika w I serii doświadczalnej przez kupkówkę pospolitą czy jęczmień jary. Ilość fosforu przyswajalnego w glebie po zbiorach roślin była natomiast niższa w porównaniu z serią poprzednią. Stąd też po zbiorze gorczycy stwierdzono minusowe saldo przyswajalnej formy tego składnika w glebie, wynoszące aż 45 mg P/kg gleby. Znacznie korzystniejsza sytuacja wystąpiła po spręczeniu słonecznika, gdzie saldo bilansowe fosforu wynosiło tylko -1 mg P/kg gleby (tab. 3).

Ogólnie należy stwierdzić, że w doświadczeniach z kupkówką pospolitą oraz rzepakiem i słonecznikiem - niezależnie od zastosowanego źródła fosforu – wzrost dawki tego składnika wpływał na jego większe pobranie. Zwiększenie dawki fosforu w przypadku tych roślin wiązało się również z wyższą zawartością P przyswajalnego pozostającą w glebie. Opisane zależności nie wystąpiły w sposób jednoznaczny w doświadczeniach z jęczmieniem oraz kukurydzą i gorczycą. Na uwagę zasługuje również fakt, że w obydwu seriach doświadczeń po zbiorach roślin w pierwszym roku stwierdzono minusowe saldo bilansowe fosforu przyswajalnego w glebie. Natomiast w drugim roku badań ujemne saldo odnotowano tylko w obiektach nawożonych solami mineralnymi na poziomie optymalnym.

Po pierwszym roku prowadzenia badań – w wyniku pobierania fosforu przez rośliny oraz zmian zawartości jego przyswajalnej formy – klasa zasobności gleb w fosfor przyswajalny zmieniła się ze średniej na niską (tab. 4). Zmiana ta wystąpiła w obiektach kontrolnych oraz nawożonych obydwoma dawkami ścieków i soli mineralnych. Po zakończeniu wegetacji roślin w drugim roku prowadzenia doświadczenia nie stwierdzono zmian w klasach zasobności gleb w stosunku do stanu przed rozpoczęciem badań.

W obiektach nawożonych dawką optymalną wyjściowa bardzo wysoka zasobność po pierwszym roku prowadzenia eksperymentu zmieniła się na średnią.

Tab. 4. Ocena zasobności gleby przy zmiennym nawożeniu po końcowych zbiorach roślin
 Estimation of soil fertility with changeable fertilization after the final harvest

Obiekt	Zasobność gleby przed doświadczeniem po dodaniu nawozów	Zasobność gleby po zbiorach			
		III pokosu kupkówki pospolitej (1995)	jęczmienia jarego (1996)	gorczycy białej (1995)	słonecznika (1996)
O	średnia	niska	średnia	niska	średnia
S ₁	średnia	niska	średnia	niska	średnia
S ₂	średnia	niska	średnia	niska	średnia
Średnia dla S ₁ , S ₂	średnia	niska	średnia	niska	średnia
A ₁	średnia	niska	średnia	niska	średnia
A ₂	średnia	średnia	średnia	niska	średnia
Średnia dla A ₁ , A ₂	średnia	średnia	średnia	niska	średnia
A ₃	b. wysoka	średnia	b. wysoka	średnia	b. wysoka

Jednakże po drugim roku doświadczenia zasobność gleby w fosfor przyswajalny w wymienionych obiektach powróciła do tej samej klasy.

WNIOSKI

1. W warunkach stosowania równoważnych ilości fosforu wszystkie rośliny wskaźnikowe pobierały więcej tego składnika z nawozu mineralnego niż z oczyszczonych ścieków miejskich.

2. Niezależnie od formy nawożenia i gatunku uprawianej rośliny stosowanie większych ilości fosforu – z nielicznymi wyjątkami – przyczyniało się do występowania niższych wartości salda bilansowego fosforu przyswajalnego w glebie.

3. Zawartości fosforu przyswajalnego w glebie, wartości sald bilansowych oraz klasy zasobności tego składnika zależały w większym stopniu od roku badań niż od postaci, w jakiej stosowano ten składnik. Po zbiorze roślin w drugim roku wymienione zawartości, salda i klasy zasobności były znacznie wyższe niż po doświadczeniach pierwszego roku.

PIŚMIENNICTWO

1. Be d n a r e k W.: Phosphorus Uptake by Multiflorous Darnel in Dependence on the Content of Mineral Forms of this Component in the Soil. Polish J. of Soil Sci., XX/2, 25-30, 1987.

2. Bednarek W., Lipiński W.: Rozpuszczalne formy magnezu, fosforu i potasu w glebie nawożonej oczyszczonymi ściekami Lublina. Mat. II Lub. Środ. Konf. Magnezologicznej nt. Biopierwiastki w naszym środowisku, 7-15, Wyd. PTMag., Oddz. w Lublinie, 1997.
3. Bóćko J.: Gleba jako środowisko oczyszczania ścieków. Roczn. Gleb., 15, 2, 497-548, 1965.
4. Czyżyk F.: Wpływ wieloletnich nawodnień ściekami miejskimi na czystość wód gruntowych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, s. Konf., XIII, 1, 293, 33-41, 1996.
5. Dechnik I., Bednarek W.: The content of Mineral Phosphorus Fractions in Soil Fertilized with Various Phosphorus Compounds. Polish J. of Soil Sci., XVIII/1-2, 63-67, 1985/86.
6. Fotyma M.: Bilans składników pokarmowych roślin. Mat. Sesji Nauk. nt. Badania nad bilansem substancji organicznej i składników pokarmowych w układzie gleba-roślina, 20-34, Bydgoszcz 1991.
7. Kaczor A.: Wpływ oczyszczonych ścieków miejskich na plonowanie i zmiany w składzie chemicznym kukurydzy i gorczycy. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 437, 223-228, 1996.
8. Kaczor A., Kozłowska J.: Oddziaływanie oczyszczonych ścieków miejskich na plon i skład jonowy kupkówki pospolitej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 437, 223-228, 1996.
9. Kaczor A., Kozłowska J.: Plonowanie i skład kationowy roślin nawożonych miejskimi ściekami Lublina. Cz. I. Rzepak jary i słonecznik. Cz. II. Jęczmień jary. Mat. II Lub. Konf. Magnezologicznej nt. Biopierwiastki w naszym środowisku, 23-36. Wyd. PTMag – Oddz. w Lublinie, 1997.
10. Kęsik K., Pietrasz-Kęsik G.: Utilization of Mineral Phosphorus Fractions from Phosphorus-Fertilized Soils. Roczn. Gleb., 32, 3, 123-130, 1981.
11. Nowak G., Ciećko Z.: Wykorzystanie fosforu z nawozów w warunkach stosowania gnojowicy oraz popiołu z węgla kamiennego. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, 172, Rolnictwo, 62, 397-403, 1996.

SUMMARY

Differences in the uptake of phosphorus by plant (rough clover, spring barley, maize and mustard, spring rapeseed and common sunflowers) were related to the dose and form in which they were used as well as to the species of the cultivated plant and the year of the experiment. When equivalent quantities of phosphorus were applied, all the plants took up more of this element from mineral fertilizers than from the purified municipal wastes. The balances of phosphorus after the harvest in the second year were much higher than after the first year.